

15.11.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D	13 JAN 2005
WIPO	PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 2 7 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 5 5 5 1 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 5 5 5 1 5]

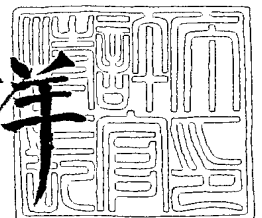
出 願 人 三 菱 重 工 業 株 式 会 社
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 2 月 2 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 200400058
【提出日】 平成16年 2月27日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 F03D 1/00
【発明者】
 【住所又は居所】 長崎県長崎市深堀町五丁目 7 1 7 番 1 号 三菱重工業株式会社
 長崎研究所内
 【氏名】 若狭 強志
【発明者】
 【住所又は居所】 長崎県長崎市深堀町五丁目 7 1 7 番 1 号 三菱重工業株式会社
 長崎研究所内
 【氏名】 井手 和成
【発明者】
 【住所又は居所】 長崎県長崎市深堀町五丁目 7 1 7 番 1 号 三菱重工業株式会社
 長崎研究所内
 【氏名】 林 義之
【発明者】
 【住所又は居所】 長崎県長崎市飽の浦町 1 番 1 号 三菱重工業株式会社 長崎造船
 所内
 【氏名】 柴田 昌明
【特許出願人】
 【識別番号】 000006208
 【氏名又は名称】 三菱重工業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100112737
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 藤田 考晴
【選任した代理人】
 【識別番号】 100118913
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 上田 邦生
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 220022
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0317197

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、

ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、

前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振手段と

を有することを特徴とする風力発電装置。

【請求項 2】

翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、

ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、

前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振手段と、

風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御手段と、

前記ピッチ角制御手段からの出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振手段からの制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算手段と

を有することを特徴とする風力発電装置。

【請求項 3】

前記アクティブ制振手段は、

前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を出力する積分手段と、

前記積分手段から出力された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御手段と

を有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の風力発電装置。

【請求項 4】

前記制御手段は、前記積分手段から出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償手段を有し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の風力発電装置。

【請求項 5】

前記制御手段は、前記位相進み補償手段から出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償手段を有し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することを特徴とする請求項 4 に記載の風力発電装置。

【請求項 6】

前記制御手段は、前記算出されたピッチ角を所定範囲内に制限する制限手段を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 までのいずれかの項に記載の風力発電装置。

【請求項 7】

翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、

ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、を備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、

前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振ステップと

を有することを特徴とする風力発電装置のアクティブ制振方法。

【請求項 8】

翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、を備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、

前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振ステップと、

風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御ステップと、

前記ピッチ角制御ステップによる出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振ステップによる制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算ステップと

を有することを特徴とする風力発電装置のアクティブ制振方法。

【請求項 9】

前記アクティブ制振ステップは、

前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を出力する積分ステップと、

前記積分ステップにより出力された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御ステップと

を有することを特徴とする請求項 7 または請求項 8 のいずれかの項に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

【請求項 10】

前記制御ステップは、前記積分ステップから出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償ステップを有し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することを特徴とする請求項 9 に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

【請求項 11】

前記制御ステップは、前記位相進み補償ステップから出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償ステップを有し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することを特徴とする請求項 10 に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

【請求項 12】

前記制御ステップは、前記算出されたピッチ角を所定範囲内に制限する制限ステップを有することを特徴とする請求項 7 から請求項 11 までのいずれかの項に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

【請求項 13】

請求項 1 から請求項 6 までのいずれかの項に記載の風力発電装置を有することを特徴とする風車タワー。

【書類名】明細書

【発明の名称】風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワー

【技術分野】

【0001】

本発明は、風速の変動により誘起される振動を抑制可能な風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーに関し、特に、ナセル重量の増大を伴うことなく低コストで風力発電装置または風車タワーの振動低減を図り得る風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーに関するものである。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置は、一般的に高さ数十[m]の円筒状タワーの上部に、翼、増速器および発電機などの重量物が設置される構造となっており、風速の変動により誘起される振動が極めて大きい。このような振動は、構造材の疲労荷重を増大させ、風車タワーの寿命を縮めることとなる。また近年、風力発電装置は大型化の傾向にあり、装置の大型化につれて、風速変動により誘起される振動の影響はますます顕著になり、風力発電装置または風車タワーにおける振動の低減は必須の技術課題となっている。

他方、ビルなどの高層建築物では、強風時の居住性を改善するためにアクティブ制振技術が実用化されている。種々の方式が提案されているが、AMD (Active Mass Damper) に代表されるように、構造物上部に設置した重量物 (mass) をモータなどのアクチュエータで駆動し、構造物本体の振動を吸収する方式が殆どである。

【0003】

しかしながら、上記高層建造物などで実用化されているアクティブ制振技術 (AMD) を、風車発電装置または風車タワーにそのまま適用しようとすると、以下のような問題が生じる。

第1に、十分な制振効果を得るためには、相当の重量物 (mass) が必要であり、また同時に、この相当の重量物を駆動するためには、大容量のアクチュエータを用意しなければならない。このため、ナセル重量が大幅に増加してしまう。

また第2に、風車タワーの上部に位置するナセル重量が増加する分だけ、そのナセルを支える風車タワーの強度を増やさなければならない。このような風車タワーやその他の構成要素の強度を大幅に増大させる必要性から、風力発電装置および風車タワーの全体のコストが増大してしまう。

さらに第3に、重量物 (mass) を駆動するアクチュエータが必要であり、駆動箇所が増えてメンテナンスコストも増大する。

そこで、例えば、特開2001-221145号公報 (特許文献1) には、上述したような課題に対して、パッシブ・アクティブ・ピッチ・フラップ機構を設けることにより、風車タワーの振動を抑制する技術が開示されている。

【特許文献1】特開2001-221145号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記特許文献1の発明では、結局、機械的な機構により風車タワーの振動を低減させる手法を取っているため、従来のAMDとかわらず、ナセルの重量増大を招く。また、複数の構造体を有するため、ナセルが大型化し、また、コスト高になるという問題もあった。

【0005】

本発明は、上記問題を解決するためになされたもので、ナセル重量の増大を伴うことなく、低コストで振動を低減させることができる風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明は以下の手段を採用する。

本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振手段とを具備することを特徴とする風力発電装置を提供する。

【0007】

本発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振手段において、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出し、これを翼ピッチ角指令としてピッチ角制御機構に出力して、風車ブレードのピッチ角を制御する。この場合において、風車ブレードに作用する抗力はナセルの前後方向にスラスト力として作用し、その大きさは風速と風車ブレードのピッチ角により変化することから、ピッチ角を所定の制御則に従って制御すれば、ナセル前後方向の振動をある程度制御することができる。

【0008】

また、本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振手段と、風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御手段と、前記ピッチ角制御手段からの出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振手段からの制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算手段とを具備することを特徴とする風力発電装置を提供する。

【0009】

本発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振手段において、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令として出力する一方、ピッチ角制御手段において、出力を所定値にするための風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力し、加算手段により出力制御用翼ピッチ角指令に制振用翼ピッチ角指令を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御する。

ここで、出力制御のためにピッチ角制御を行うことは従来より広く採用されている技術であるので、加速度計、アクティブ制振部および加算手段を既存の風力発電装置に付加的に実装するだけで本発明を実現することが可能である。従って、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に重畳させてピッチ角制御を行うので、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。

【0010】

また、上記記載の風力発電装置において、前記アクティブ制振手段は、前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を出力する積分手段と、前記積分手段から出力された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御手段とを具備することが好ましい。

【0011】

この発明によれば、アクティブ制振手段において、加速度計により検出された加速度を

積分手段により積分して速度を求め、制御手段により、該速度に基づいて、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する。このように、本発明によれば、アクティブ制振手段を積分手段および制御手段という簡単な構成で実現できるので、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、積分手段を介して高周波数帯のノイズも除去されるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

【0012】

また、上記記載の風力発電装置において、前記制御手段は、前記積分手段から出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償手段を具備し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

更に、前記制御手段は、前記位相進み補償手段から出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償手段を具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

【0013】

この発明によれば、該位相遅れ補償後の速度に基づき、ピッチ角を算出するので、加速度計出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

【0014】

また、上記記載の風力発電装置において、前記制御手段は、前記算出されたピッチ角を所定範囲内に制限する制限手段を具備することが好ましい。

この発明によれば、制御手段に、算出されたピッチ角を所定範囲内に制限する制限手段を具備して構成するので、ピッチ角制御機構の疲労を低減できると共に、パラメータの設定ミス等による不具合を防止でき、さらに、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に比べて非常に小さい範囲に制限した場合には、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

【0015】

また、本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、を備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振ステップとを具備することを特徴とする風力発電装置のアクティブ制振方法を提供する。

【0016】

本発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振ステップにおいて、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出し、これを翼ピッチ角指令としてピッチ角制御機構に出力して、風車ブレードのピッチ角を制御する。このように、加速度計およびピッチ角制御機構のハードウェアとアクティブ制振ステップのソフトウェアで実現できるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。

【0017】

また、本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、を備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振ステップと、風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御ステップと、前記ピッチ角制御ステッ

ブによる出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振ステップによる制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算ステップとを具備することを特徴とする風力発電装置のアクティブ制振方法を提供する。

【0018】

この発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振ステップにおいて、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令として出力する一方、ピッチ角制御ステップにおいて、出力を所定値にするための風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力し、加算ステップにより出力制御用翼ピッチ角指令に制振用翼ピッチ角指令を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御する。出力制御のためにピッチ角制御を行うことは従来より広く採用されている技術であるので、アクティブ制振ステップおよび加算ステップを風力発電装置の既存の制御ソフトウェアに付加するだけで本発明を実現することが可能である。

これにより、加速度計の実装とソフトウェアの付加で実現が可能であるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に重畳させてピッチ角制御を行うので、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。

【0019】

また、上記記載の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記アクティブ制振ステップは、前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を出力する積分ステップと、前記積分ステップにより出力された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御ステップとを具備することが好ましい。

【0020】

この発明によれば、アクティブ制振ステップにおいて、加速度計により検出された加速度を積分ステップにより積分して速度を求め、制御ステップにより、該速度に基づいて、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する。このように、本発明によれば、アクティブ制振ステップを積分ステップおよび制御ステップという簡単な構成で実現できるので、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、積分ステップを介して高周波数帯のノイズも除去されるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

【0021】

また、上記記載の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記制御ステップは、前記積分ステップから出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償ステップを具備し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

また、上記記載の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記制御ステップは、前記位相進み補償ステップから出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償ステップを具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

【0022】

本発明によれば、制御ステップに、積分ステップから出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償ステップを具備し、制御ステップに、位相進み補償ステップから出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償ステップを具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づきピッチ角を算出する。これにより、加速度計出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

【0023】

また、上記記載の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記制御ステップは、

前記算出されたピッチ角を所定範囲内に制限する制限ステップを具備することが好ましい。

発明によれば、ピッチ角制御機構の疲労を低減できると共に、パラメータの設定ミス等による不具合を防止でき、さらに、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に比べて非常に小さい範囲に制限した場合には、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

【0024】

また、本発明は、請求項1から請求項6までのいずれかの項に記載の風力発電装置を具備することを特徴とする風車タワーを提供する。

本発明によれば、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風車タワーの振動低減を図ることができる。また、従来のAMDのように重量物や該重量物用のアクチュエータを用いないので、ナセル重量の増大を伴うことがなく、風車タワーの強度を上げる必要が無く低コストで実現できる。

【発明の効果】

【0025】

本発明の風力発電装置によれば、従来のAMDのように重量物や該重量物用のアクチュエータを用いることなく、加速度計、アクティブ制振手段およびピッチ角制御機構により、振動を抑制させることができるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーの実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図1は本発明の一実施形態に係る風力発電装置の構成図である。同図において、本実施形態の風力発電装置は、風力発電装置の機械的部分10、アクティブ制振部20、ピッチ角制御部30および減算器40を備えて構成されている。まず、本実施形態の風力発電装置における各構成要素の概略を説明する。

【0027】

風力発電装置の機械的部分10は、風車ロータ11、風車ブレード12、増速機14、発電機15および加速度計17を備えたナセル13、並びに、風速計16を主な構成要素としている。この風力発電装置の機械的部分10では、風車ロータ11に取り付けられた複数枚の風車ブレード12が風力エネルギーを受けて風車ロータ11と共に回転し、増速機14によって増速した後、発電機15を駆動して発電することにより風力エネルギーを電気エネルギーに変換している。なお、図1では増速機14を備えた構成としているが、増速機14を用いないダイレクトドライブ方式でもかまわない。

【0028】

本実施形態の風力発電装置の特徴である加速度計17は、ナセル13内部のタワー中心部に近い位置に設置され、ナセル13の前後方向の振動の加速度を検出する。

また、ピッチ角制御部30は、風速計16で測定された風速 v 、風車ロータ11の回転数 N または当該風力発電装置の出力 P に基づき、当該風力発電装置の出力 P を所定値にするための風車ブレード12のピッチ角を算出し、これを出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* として出力する。このピッチ角制御による出力制御は従前より行われており、本実施形態のピッチ角制御部30も従前のものと同等である。

また、アクティブ制振部20は、加速度計17により検出された加速度に基づき、ナセル13の振動を打ち消すように風車ブレード12にスラスト力を発生させるための該風車ブレード12のピッチ角を算出し、これを制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ として出力する。

さらに、減算器（加算手段）40は、ピッチ角制御部30からの出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* にアクティブ制振部20からの制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を重畳させ、これを翼ピッチ角指令としてピッチ角制御機構に与える。ここで、ピッチ角制御機構（図示せず

) は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレード 12 のピッチ角を制御するもので、その構造等は従来のものと同等である。

【0029】

次に、アクティブ制振部 20 の詳細な構成、並びに、アクティブ制振部 20 により風力発電装置および風車タワーの振動を低減させるアクティブ制振方法について詳しく説明する。

まず、アクティブ制振方法の基本的な考え方について図 2 および図 3 を参照して説明する。図 2 は、風車ブレード 12 (図 1 参照) の先端から根本の方を見たときの風車ブレード 12 の断面を示しており、風車ブレード 12 に作用する力を説明する説明図である。なお、同図において、風車ブレードの回転方向は右から左であり、風力発電装置または風車タワーの振動方向を上下 (x) 方向としている。また、図 3 は、6 [m/s] から 24 [m/s] までの風速 v それぞれについて、スラスト力とピッチ角の関係を例示する説明図である。

図 2 に示すように、風車運転中には、風車ブレード 12 に対して揚力 L と抗力 D が作用する。抗力 D は、風車タワーのナセル 13 (図 1 参照) の前後方向にスラスト力として作用している。一方、図 3 に示すように、スラスト力の大きさは風速とピッチ角により変化する。したがって、ピッチ角を何らかの制御則に基づいて制御すれば、風車タワーのナセル 13 の前後方向のスラスト力を変化させて、風車タワーのナセル 13 の前後方向の振動をある程度制御することが可能である。本発明は、この点に着目したものであり、このピッチ角の制御則について、以下説明する。

【0030】

図 4 は、風車タワーを機械振動系としてモデル化したときの説明図であり、図 4 (a) は風車タワーの模式図、図 4 (b) は機械振動系の説明図である。すなわち、図 4 (a) では、風車タワーのナセル 10 に加速度計 17 を設置して、変位 x についての加速度 ($d^2 x / dt^2$) を検出することを模式的に示している。また図 4 (b) に示すように、風車タワーは、質量 m の物体、ばね定数 k のばね、並びに、粘性抵抗 c のダッシュポットでモデル化することができる。

この機械振動系において、平衡状態からの変位を x とすると、物体の振動の方程式は、(1) 式となる。

【0031】

【数 1】

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f + \Delta f \quad (1)$$

ここで、 $f + \Delta f$ は物体に対して働く力であり、 Δf はアクティブ制振部 20 のピッチ制御動作によって付加的に加わる力である。

(1) 式について、変形すると (2) 式が得られる。

【0032】

【数 2】

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = \frac{1}{m} (f + \Delta f) \quad (2)$$

ここで、系の固有振動数 ω_n および減衰率 ζ を次のように置いて、(2) 式を書き換えると (3) 式が得られる。

$$\omega_n = (k/m)^{1/2} \quad (3)$$

$$\zeta = c / 2 (mk)^{1/2} \quad (4)$$

【0033】

【数3】

$$\ddot{x} + 2\zeta \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{1}{m} (f + \Delta f) \quad (5)$$

さらに、(5) 式をラプラス変換すれば、(6) 式が得られる。

$$s^2 X(s) + 2\zeta \omega_n s X(s) + \omega_n^2 X(s) = (1/m) F(s) \quad (6)$$

(6) 式より、系の伝達関数 $G(s)$ は (7) 式で与えられることになる。

$$G(s) = X(s) / F(s) = (1/m) / (s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2) \quad (7)$$

(7) 式のような 2 次系の周波数応答特性において、(3)、(4) 式から、質量 m およびばね定数 k の変化で系の固有振動数 ω_n を変えることができるが、減衰率 ζ については、質量 m およびばね定数 k の変化の影響よりも粘性抵抗 c の変化の影響の方が大きいことが分かる。

【0034】

一方、(1) 式において、付加的に加わる力 Δf を、例えば、

【0035】

【数4】

$$\Delta f = -D_p \dot{x} \quad (8)$$

と置くことにより、(1) 式は (9) 式のように書き換えることができる。

【0036】

【数5】

$$m\ddot{x} + (C + D_p) \dot{x} + kx = f \quad (9)$$

つまり、アクティブ制振部 20 のピッチ制御動作によって付加的に加わる力 Δf を (8) 式のように設定することにより、(9) 式の 1 次項における $+D_p$ 分の増加によって減衰率 ζ をより大きな値に変えることができ、振動の減衰をより早めると共に、周波数応答特性において固有振動数 ω_n のゲインのピーク値をより抑えて、振動振幅を抑制することができることになる。

以上説明したアクティブ制振方法の基本的な考え方を踏まえて、次に、アクティブ制振制御のための具体的な構成とその動作について詳しく説明する、図 5 には、本実施形態におけるアクティブ制振制御システムのブロック線図を示す。

【0037】

図 5 において、符号 51 は、減算器 40 から出力される翼ピッチ角指令に基づき風車ブレード 12 を駆動してピッチ角度を制御するピッチアクチュエータである。ピッチアクチュエータ 51 は、具体的には、油圧シリンダまたは電動モータ等によって実現されるが、ここでは、機械振動系の観点から 1 次遅れ系でモデル化している。

また、符号 52 は、風車運転中に風車ブレードに対して作用するスラスト力を算出するブレードシステムである。図 2 に示したように、風車タワーのナセルの前後方向のスラスト力は、揚力 L および抗力 D の前後方向成分の和であるので、加算器 54 でこれらを加算

して出力している。また、抗力Dによるスラスト力については、風車ブレード12のピッチ角とスラスト力の間に図3に示したような特性を持つので、スラスト力はピッチ角に逆比例すると見なして、その直線近似で得られる勾配に基づくKbをゲインとする増幅器53により求めている。

また、符号55は、風車タワーを機械振動系としてモデル化したタワーシステムである。伝達関数は(7)式で求めたが、アクティブ制振制御システムでは、加速度(d^2x/dt^2)を加速度計17で検出してフィードバックをかけているので、(7)式に s^2 を掛けた伝達関数でモデル化している。なお、このモデルは1次振動モードのみのモデルである。

【0038】

以上のピッチアクチュエータ51、ブレードシステム52およびタワーシステム55は、従来の風力発電装置が備える構成であるが、本実施形態では、これらに、タワーシステム55の出力である加速度を検出する加速度計17、風車タワーのナセル13の前後方向のスラスト力を変化させるための制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を生成するアクティブ制振部20、並びに、アクティブ制振部20によって得られる制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ をピッチ角制御部30から出力される出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に重畳するべく、 $\delta\theta^* - \theta^*$ の演算を行う減算器40を付加して、フィードバックループを構成している。

加速度計17は、出力に位相遅れがあるので1次遅れ系でモデル化している。また、アクティブ制振部20では、(8)式で設定したように、速度(dx/dt)にDpを掛けたものをアクティブ制振部20のピッチ制御動作によって付加的に加わる力としているので、加速度を積分して速度を求める積分器21、並びに、伝達関数Gc(s)を持つ制御部22を備えて構成されている。

【0039】

すなわち、ナセル13内部に設置された加速度計17により、ナセル13の前後方向の加速度(1次振動モード)を計測し、その計測した加速度をアクティブ制振部20に入力して、積分器21による積分演算によりナセル13の前後方向の速度を算出する。アクティブ制振部20の制御部22では、算出された速度に基づいて制振効果を得るための制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を計算する。アクティブ制振部20で求められた制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ は、減算器40によってピッチ角制御部30(図1参照)で求められた出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に重畳される。ピッチアクチュエータ51では、この重畳された翼ピッチ角指令に基づき風車ブレード12を駆動してピッチ角度を制御するが、このピッチ角度制御により、当該風力発電装置の出力が制御されると共に、ピッチ角に応じたスラスト力が風車タワーのナセル13の前後方向の振動を抑制するように作用して、振動の減衰を早める働きをする。

【0040】

このように、本実施形態では、制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に重畳することで、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。なお、速度を算出する積分器21は単に積分演算を行うだけでなく、周波数特性として相対的に高域周波数帯を抑制し且つ低域周波数帯を強調する特性を持つので、高周波数帯のノイズをカットする役目をも果たす。

【0041】

次に、図6を参照して、アクティブ制振部20の制御部22の具体的な構成および動作について説明する。図6(a)、(b)は共にアクティブ制振部20の制御部22の構成を例示するブロック線図である。

図6(a)において、制御部22aは、位相進み補償器62、位相遅れ補償器63、増幅器64およびリミッタ65を備えて構成されている。

上述のように、加速度計17の出力には位相遅れがあるので、位相進み補償器62によって位相を調整している。位相進み補償器62は、図示するように、 $(1+s a T_1)/(1+s T_1)$ の位相進み系の伝達関数(ここで、 $a < 1$)を持つ。

また、位相進み補償器62を通過することにより、高域周波数帯でのノイズが増幅され

てしまうので、その対策として位相遅れ補償器 63 を付加し、相対的に高域周波数帯を抑制し且つ低域周波数帯を強調している。位相遅れ補償器 63 は、図示するように、 $(1 + s\alpha T_2) / (1 + sT_2)$ の位相遅れ系の伝達関数（ここで、 $\alpha > 1$ ）を持つ。このように、アクティブ制振部 20 の制御部 22 に、位相進み補償器 62 および位相遅れ補償器 63 の 2 種類のフィルタを具備することにより、加速度計 17 出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

また、(8) 式の設定から、増幅器 64 は、ゲイン D_p の伝達関数を持つように構成される。ここで、ゲイン D_p は、シミュレーションや実験等の結果を踏まえて、設定されるのが望ましい。

【0042】

さらに、制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ によるピッチ角制御をあまり頻繁に行うと、ピッチ角制御機構が動きすぎて疲労を起こしてしまうことから、リミッタ 65 により制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ に制限（例えば ± 1 [deg]）を設けて、ピッチ角制御機構の疲労を低減している。また、この制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ の制限により、制振制御系のパラメータの設定ミス等によって風車タワーの振動がかえって増大してしまうなどの不具合を防止することができる。さらに、制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ は出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に比べて非常に小さい範囲に制限されるので、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

また、図 6 (b) に示す制御部 22b では、制御部 22a の位相進み補償器 62 の前段に 2 次振動性の補償器 61 を付加して構成し、より高精度の制御を実現している。

【0043】

なお、以上の説明では、アクティブ制振部 20 をハードウェアで構成して、制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を出力するものとして説明したが、各構成要素を順次実行されるサブプログラムとして構成しても良い。この場合、積分器 20 は積分ステップ、制御部 22 は制御ステップ、また、制御部 22 内の各構成要素もそれぞれ位相進み補償ステップ、位相遅れ補償ステップ、制限ステップ等に置き換えられ、これら各ステップはいわゆるコントローラ内部の CPU、MPU 或いは DSP 上で実行されるサブプログラムとなる。

【0044】

次に、以上説明したアクティブ制振部 20 によるアクティブ制振制御システムを、従来の風力発電装置で実現されているピッチ角制御部 30 による出力制御システムに組み込んだ時の制御システムのブロック線図を図 7 に示し、ピッチ角制御部 30 による出力制御について簡単に説明する。

図 7 において、ピッチ角制御部 30 は、減算器 31、32 と、風速制御部 33 と、回転数制御部 34 と、出力制御部 35 と、選択部 36 とを備えた構成である。

風速制御部 33 では、風速計 16 によって測定した風速 v [m/s] に基づき翼ピッチ角指令 θ_v を求めて出力する。また、回転数制御部 34 では、風車ロータ 11 の回転数 N [rpm] に基づき、所定回転数（目標値） N^* となるように翼ピッチ角指令 θ_N を算出して出力する。さらに、出力制御部 35 では、当該風力発電装置の出力 P [kW] に基づき、所定出力（目標値） P^* となるように翼ピッチ角指令 θ_P を算出して出力する。

【0045】

また、選択部 36 では、風速制御部 33、回転数制御部 34 および出力制御部 35 のそれぞれで求めた翼ピッチ角指令 θ_v 、 θ_N および θ_P の内の最小値を選択 (minimum selection)、即ち、最も出力を出さない翼ピッチ角指令を選んで、出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* として出力する。また、一般に、風車発電装置の出力 P [kW] と風速 v [m/s] の特性は、図 8 に示す説明図の如くなり、定格出力、定格風速となるまでは風速 v [m/s] に基づく制御を行い、定格出力、定格風速に至った後は風車ロータ 11 の回転数 N [rpm] または風力発電装置の出力 P [kW] に基づく制御を行う。

なお、ピッチ角制御部 30 によるピッチ角の範囲は、ファインピッチ（約 -20 [deg] でこの時回転数は大きい）からフェザー（約 -104 [deg] でこの時回転数は小さい

) までと広い制御範囲を持つ。

【0046】

次に、本実施形態の風力発電装置およびそのアクティブ制振方法の効果を、シミュレーション実験結果を例示して説明する。図9は、アクティブ制振部20によるアクティブ制振がある時と無い時について、タワーシステム55における振動振幅の周波数特性を示している。タワーシステム55の固有振動数付近で振動振幅が抑制されていることが顕著に表れている。なお、タワーシステム55の固有振動数は予め分かっているため、固有振動数に応じた制御システムのパラメータ設定を行うことで、より最適な制振制御を行うことができる。

【0047】

以上説明したように、本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法では、ナセル13に取り付けられた加速度計17により該ナセル13の振動の加速度を検出し、アクティブ制振部20（アクティブ制振ステップ）において、該加速度に基づき、ナセル13の振動を打ち消すように風車ブレード12にスラスト力を発生させるための該風車ブレード12のピッチ角を算出し、これを制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ として出力する一方、ピッチ角制御手段30（ピッチ角制御ステップ）において、出力を所定値にするための風車ブレード12のピッチ角を算出してこれを出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* として出力し、減算器40（加算ステップ）により出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するようにしている。

【0048】

出力制御のためにピッチ角制御を行うことは従来より広く採用されている技術であるので、加速度計17、アクティブ制振部20（アクティブ制振ステップ）および減算器40（加算ステップ）を既存の風力発電装置に付加的に実装するだけで本実施形態を実現することが可能である。すなわち、容易に実装が可能であるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に重畳させてピッチ角制御を行うので、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。

また、本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法では、アクティブ制振部20（アクティブ制振ステップ）において、加速度計により検出された加速度を積分器21（積分ステップ）により積分して速度を求め、制御部22（制御ステップ）により、該速度に基づいて、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する。このように、本発明によれば、アクティブ制振部20（アクティブ制振ステップ）を積分器21（積分ステップ）および制御部22（制御ステップ）という簡単な構成で実現できるので、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、積分器21（積分ステップ）を介して高周波数帯のノイズも除去されるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

【0049】

また、本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法によれば、制御部22（制御ステップ）に、積分器21（積分ステップ）から出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償器62（位相進み補償ステップ）と、位相進み補償器62（位相進み補償ステップ）から出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償器63（位相遅れ補償ステップ）を具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、ピッチ角を算出する。これにより、加速度計出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

また、本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法によれば、制御部22（制御ステップ）に、算出されたピッチ角を所定範囲内に制限するリミッタ65（制限ステップ）を具備して構成するので、ピッチ角制御機構の疲労を低減できると共に、パラメータの設定ミス等による不具合を防止でき、さらに、制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を出力

制御用翼ピッチ角指令 θ^* に比べて非常に小さい範囲に制限した場合には、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

【0050】

以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

また、上記実施形態の説明では、風力発電装置およびそのアクティブ制振方法について詳細に述べたが、本実施形態の風力発電装置およびそのアクティブ制振方法をそのまま風車タワーに適用することができる。この場合、上述した効果の他に、次のような効果をも奏する。すなわち、従来のAMDのように重量物や該重量物用のアクチュエータを用いないので、ナセル13の重量が増大することがなく、風車タワー自体の強度を上げる必要が無いことから、低コストで実現できる点である。

また、実施形態では、ピッチ角制御によって出力制御を行っているが、他の出力制御を採用している風力発電装置または風車タワーにも適用できる。但し、この場合、新たに風車ブレード12のピッチ角を制御するピッチ角制御機構を付加する必要がある。

【0051】

さらに、実際の運用において、信頼性や安全性を高める観点から以下のような構成や手法を採ることも可能である。

例えば、フェールセーフのためにナセル13内部に常時2つの加速度計を動作させておき、アクティブ制振制御には片方の検出結果のみを使用し、どちらか一方が故障した場合には、アクティブ制振制御を自動的に停止させる手法である。

また、制振制御系のパラメータ（主としてフィードバックゲイン $G_c(s)$ ）の設定値が不適切である場合、例えば、符号が逆転していたり許容範囲を超えたハイゲインに設定したりした場合などには、制振制御系が不安定となって風車タワー（ナセル13）の振動が増大してしまうようなことが起き得るが、（加速度計17等によって）このような状態を自動的に検知し、アクティブ制振制御を自動的に停止させる手法なども考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】 本発明の一実施形態に係る風力発電装置の構成図である。

【図2】 風車ブレードに作用する力を説明する説明図である。

【図3】 風速変化に対してスラスト力とピッチ角の関係を例示する説明図である。

【図4】 風車タワーを機械振動系としてモデル化したときの説明図であり、図4（a）は風車タワーの模式図、図4（b）は機械振動系の説明図である。

【図5】 実施形態におけるアクティブ制振制御システムのブロック線図である。

【図6】 アクティブ制振部の制御部の構成を例示するブロック線図である。

【図7】 アクティブ制振制御システムを出力制御システムに組み込んだ時の制御システムのブロック線図である。

【図8】 風車発電装置の出力および風速間の特性を説明する説明図である。

【図9】 アクティブ制振部によるアクティブ制振がある時と無い時について、タワーシステムにおける振動振幅の周波数特性を例示する説明図である。

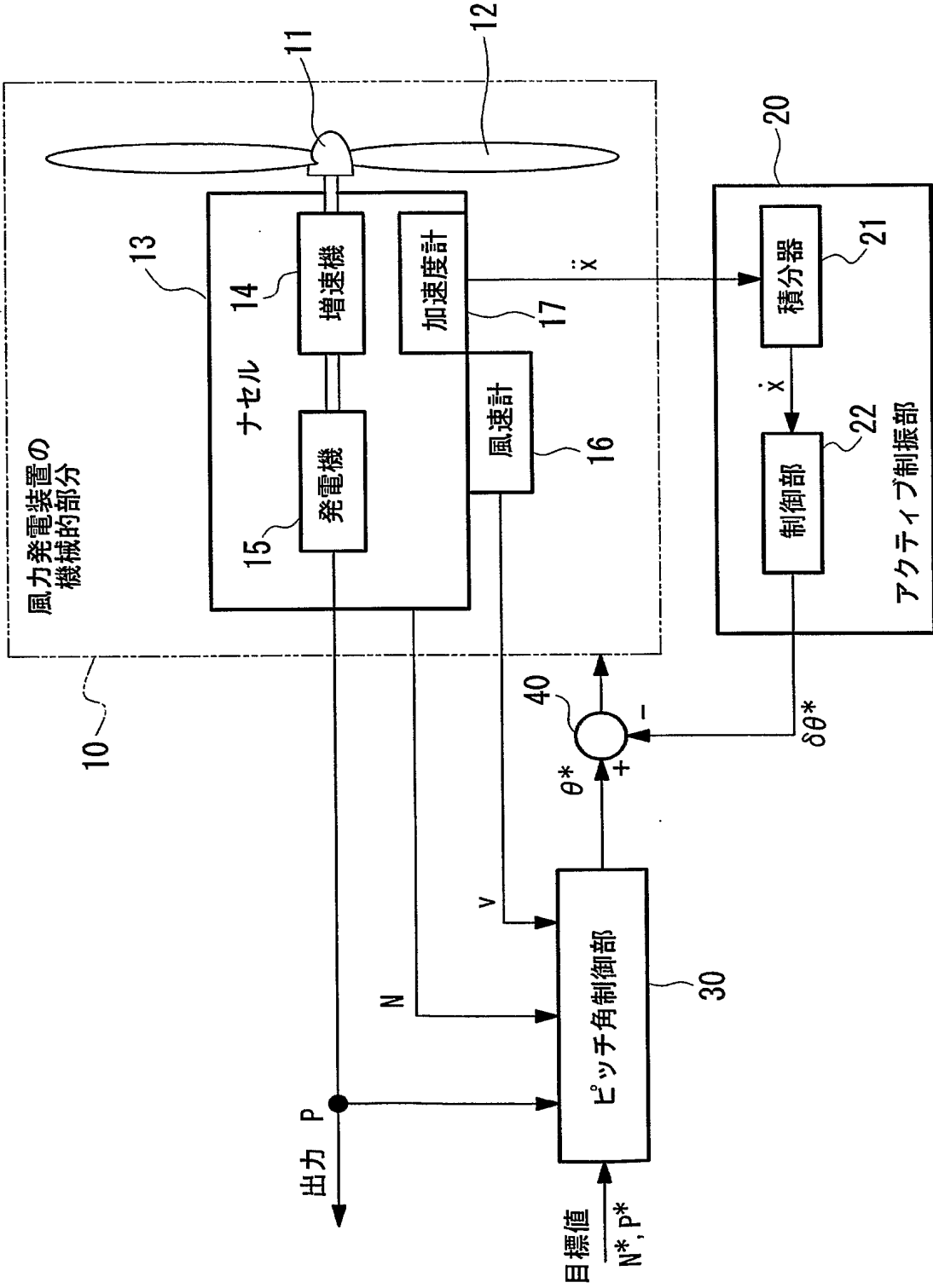
【符号の説明】

【0053】

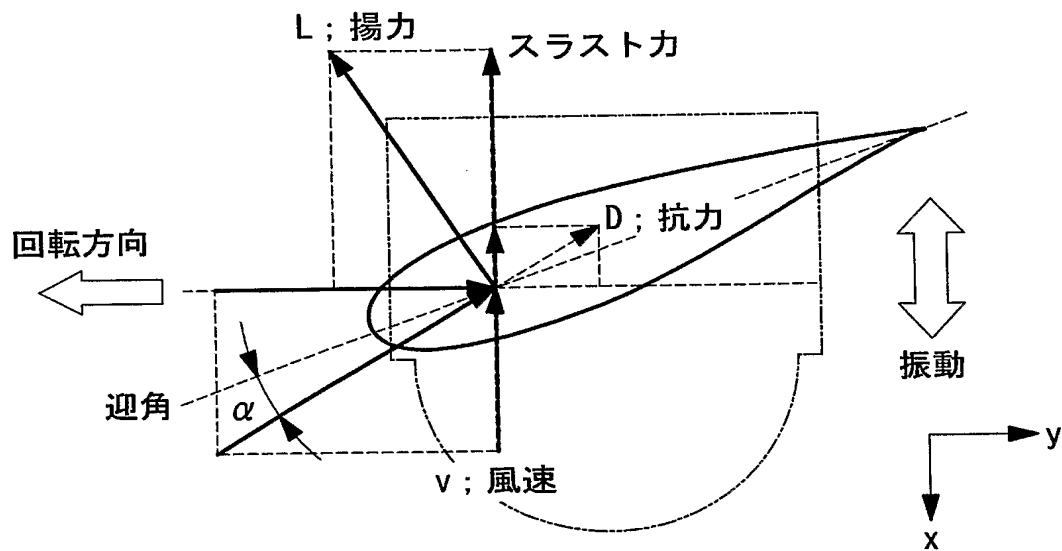
- 10 風力発電装置の機械的部分
- 11 風車ロータ
- 12 風車ブレード
- 13 ナセル
- 14 増速機
- 15 発電機
- 16 風速計
- 17 加速度計

- 2 0 アクティブ制振部 (アクティブ制振手段)
- 2 1 積分器 (積分手段)
- 2 2, 2 2 a, 2 2 b 制御部 (制御手段)
- 3 0 ピッチ角制御部 (ピッチ角制御手段)
- 3 1, 3 2 減算器
- 3 3 風速制御部
- 3 4 回転数制御部
- 3 5 出力制御部
- 3 6 選択部
- 4 0 減算器 (加算手段) 4 0 を備えて構成されている。
- 5 1 ピッチアクチュエータ
- 5 2 ブレードシステム
- 5 3 増幅器
- 5 4 加算器
- 5 5 タワーシステム
- 6 1 2 次振動性の補償器
- 6 2 位相進み補償器
- 6 3 位相遅れ補償器
- 6 4 増幅器
- 6 5 リミッタ

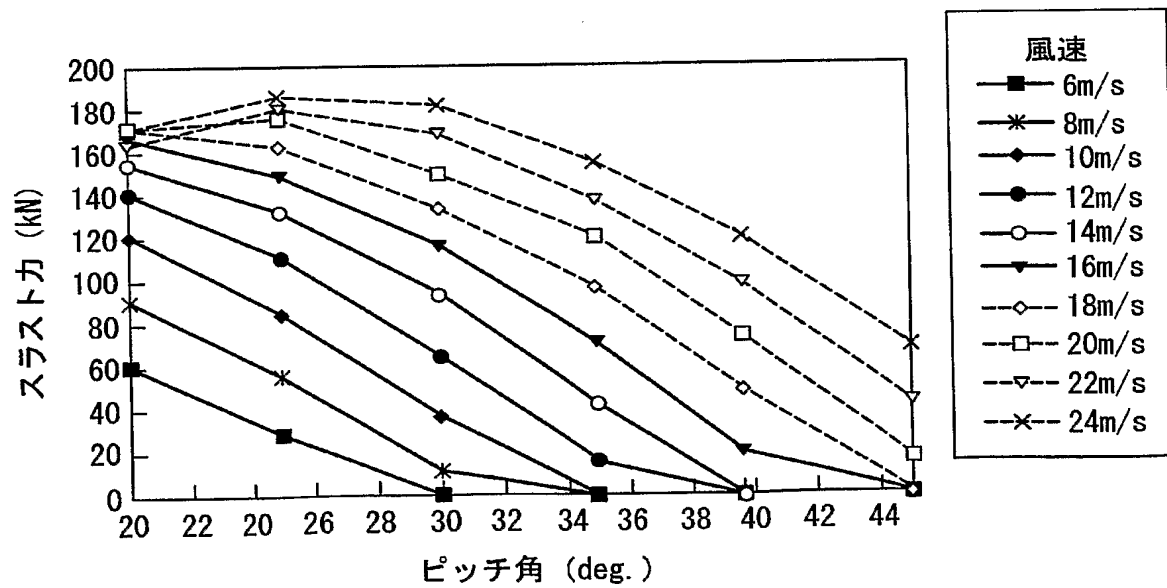
【書類名】 図面
【図 1】



【図 2】

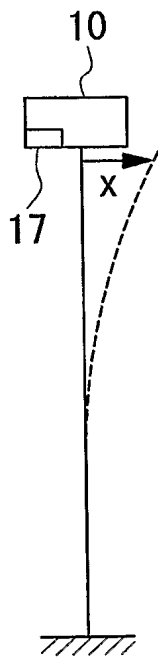


【図 3】

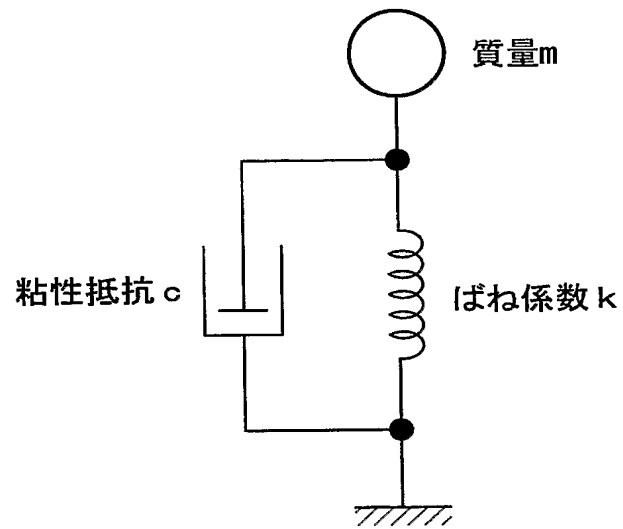


【図 4】

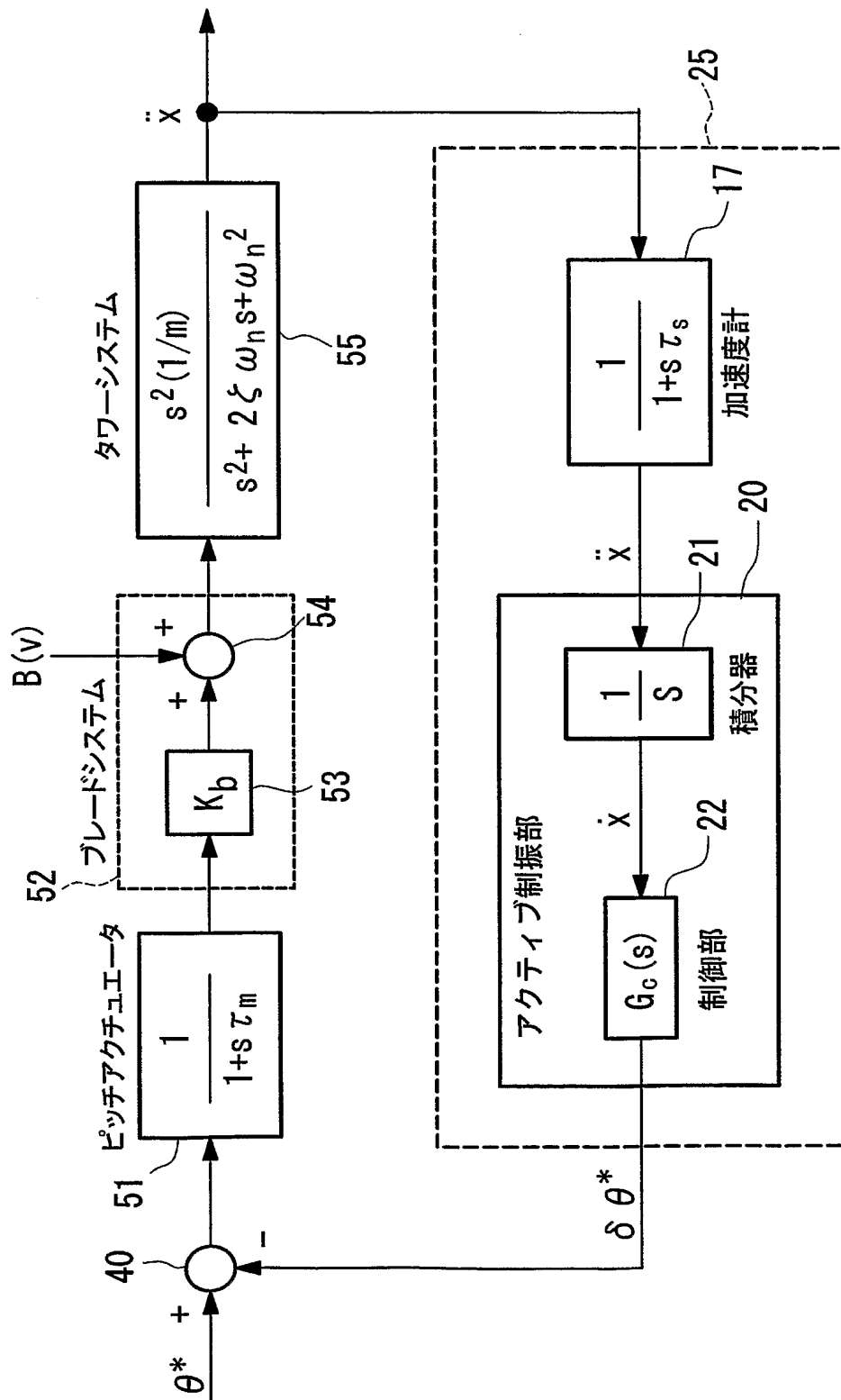
(a)



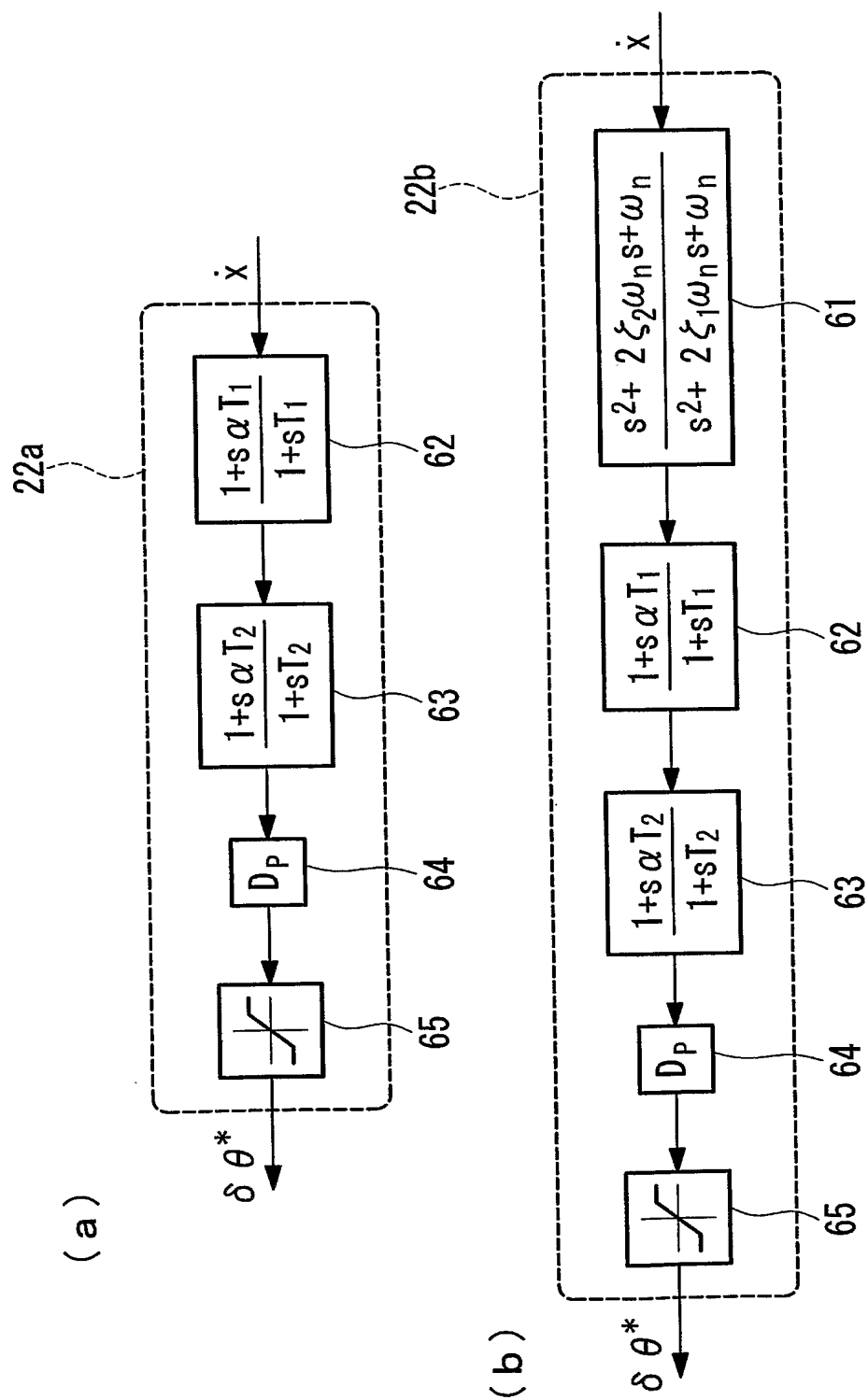
(b)



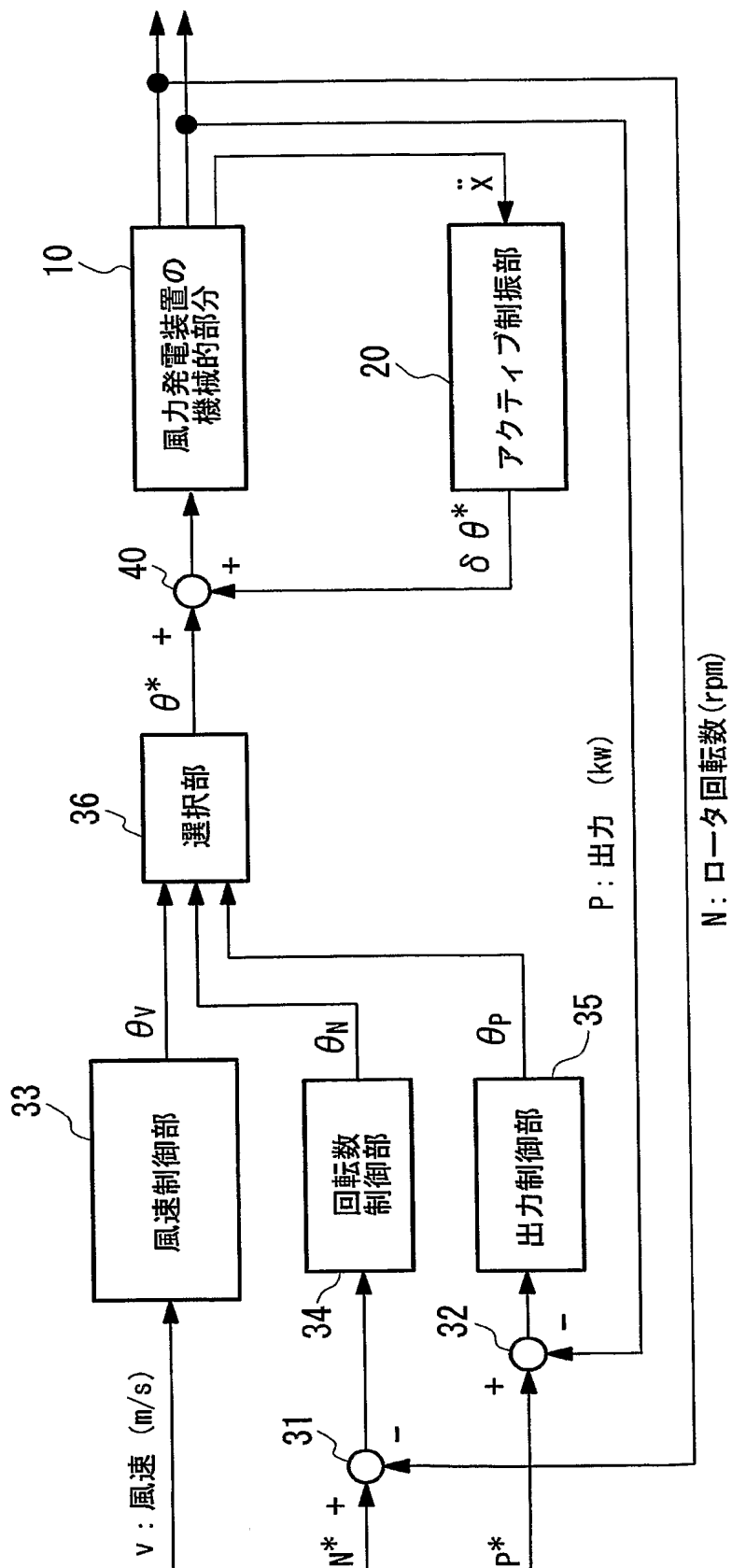
【図 5】



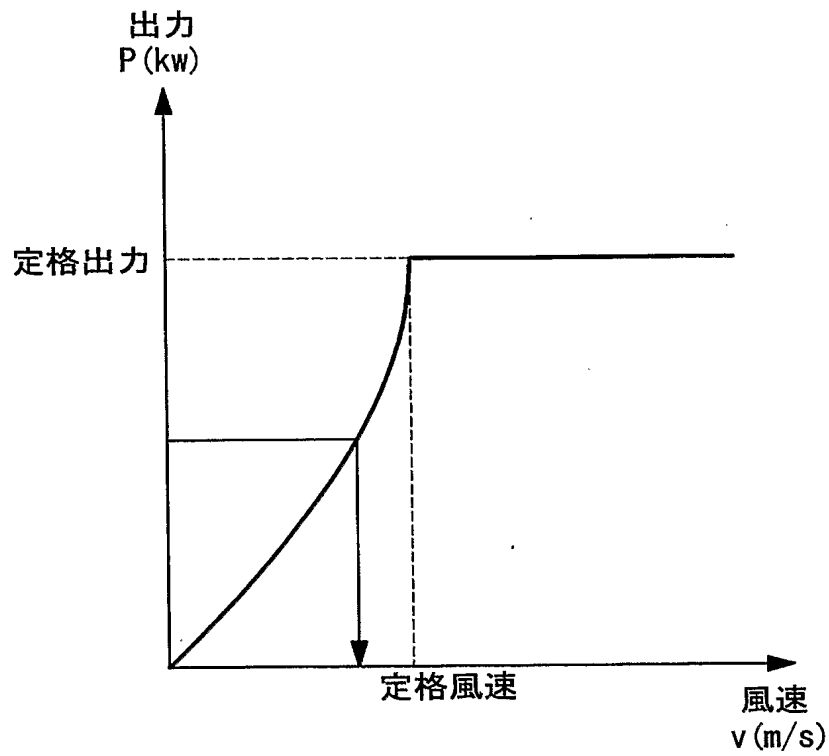
【図 6】



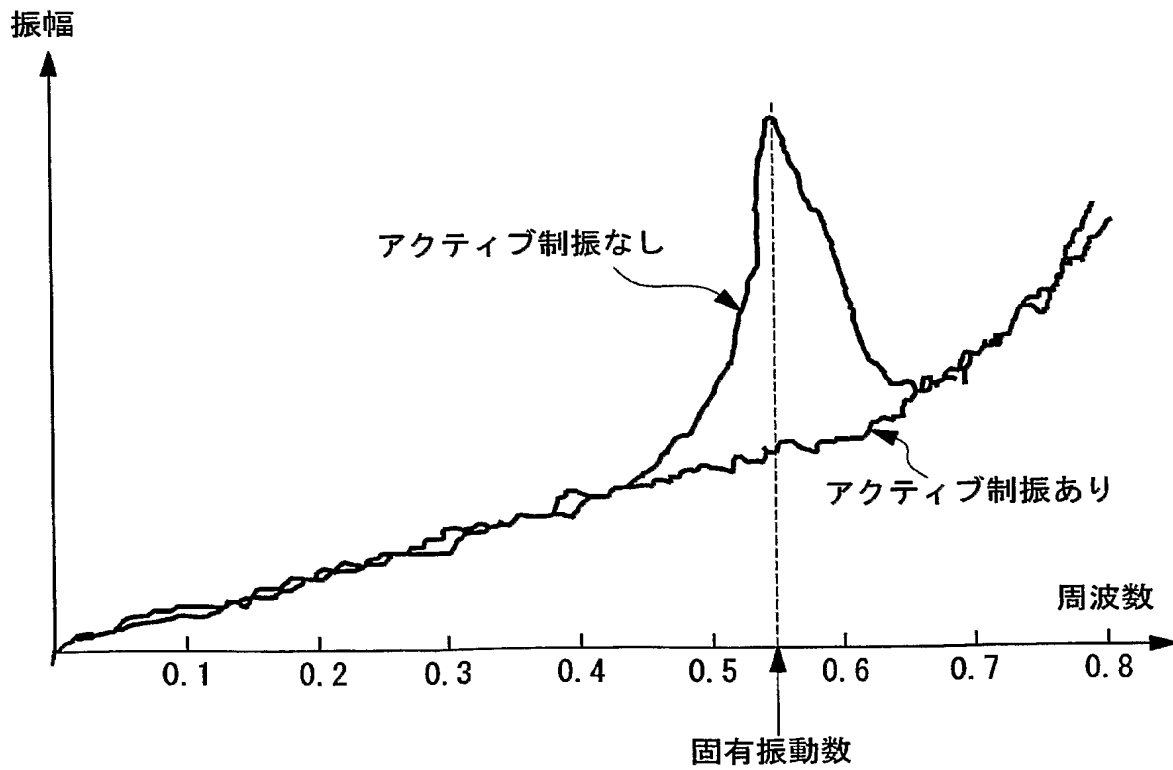
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低コストで風力発電装置または風車タワーの振動低減を図り得る風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーを提供することを目的とする。

【解決手段】 ナセル 1 3 に取り付けられた加速度計 1 7 により該ナセル 1 3 の振動の加速度を検出し、アクティブ制振部 2 0 において、該加速度に基づき、ナセル 1 3 の振動を打ち消すように風車ブレード 1 2 にスラスト力を発生させるための該風車ブレード 1 2 のピッチ角を算出し、これを制振用翼ピッチ角指令 $\delta \theta^*$ として出力する一方、ピッチ角制御手段 3 0 において、出力を所定値にするための風車ブレード 1 2 のピッチ角を算出してこれを出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* として出力し、減算器 4 0 により出力制御用翼ピッチ角指令 θ^* に制振用翼ピッチ角指令 $\delta \theta^*$ を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 5 5 5 1 5

ページ： 1/E

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 6 2 0 8]

1. 変更年月日
[変更理由]
住 所
氏 名

2 0 0 3 年 5 月 6 日
住所変更
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号
三菱重工業株式会社